

УДК 621.438.082.2

## **АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Скиба Д.В., ООО «НПФ «Теплофизика», г. Уфа, [d.skiba@teplophysics.ru](mailto:d.skiba@teplophysics.ru)  
Кашапов Р.С., ООО «НПФ «Теплофизика», г. Уфа  
Максимов Д.А., ООО «НПФ «Теплофизика», г. Уфа

Результаты многочисленных исследований работы малоэмиссионных камер сгорания показывают, что устойчивая работа данного типа камер сгорания возможна только в узком диапазоне режимных и управляющих параметров [1].

В лабораторных условиях возможно построение карты областей устойчивой малоэмиссионной работы камеры сгорания для ограниченного набора рабочих точек характеризующихся расходом воздуха, расходом топлива, давлением и температурой на входе в камеру сгорания, распределением расхода топлива по топливным контурам камеры сгорания. При пуско-наладке камеры сгорания в составе газотурбинного двигателя (ГТД) отладка работы камеры сгорания возможна так же только в ограниченном диапазоне режимных параметров.

Для применения таких карт областей устойчивой малоэмиссионной работы камеры сгорания в условиях эксплуатации ГТД необходимо предложить критерии, обобщающие полученные зависимости на все возможные режимы работы ГТД. Данная задача осложняется тем, что режимы работы двигателей одного типа могут существенно различаться между собой. Это связано с различиями характеристик узлов ГТД одного типа. Кроме того даже для данного ГТД в связи с постепенной деградацией характеристик его узлов происходит изменение линий рабочих режимов камеры сгорания.

В данном докладе исследуется частный случай проблемы создания алгоритма управления малоэмиссионной камерой сгорания ГТД наземного применения для привода газоперекачивающего агрегата (ГПА). На основе анализа недостатков алгоритмов управления камерами сгорания ГПА Ладога-32, ДГ-90 сформулированы требования к алгоритму управления малоэмиссионной камерой сгорания.

Управление расходом диффузионного топлива в камере сгорания Ладога-32 производится на основе данных о температуре воздуха окружающей среды и температуре перед сопловым аппаратом турбины высокого давления. Данный алгоритм управления имеет недостаток, связанный с невозможностью установить расход диффузионного топлива для неисследованного диа-

пазона температур окружающей среды. Управление расходом диффузионного топлива для ДГ-90 осуществляется на основе данных об оборотах турбины высокого давления и температуре воздуха окружающей среды [2]. Данные алгоритмы управления диффузионным топливом содержат недостаток, связанный с изменением характеристик узлов и агрегатов в ходе их работы, что приводит к изменению расхода воздуха и топлива через камеру сгорания.

Подача диффузионного топлива в камерах сгорания производства ООО «НПФ «Теплофизика» осуществляется в зависимости от среднемассовой температуры продуктов сгорания в первичной зоне (температуры пламени). Результаты экспериментальных исследований влияния подачи диффузионного топлива на устойчивость камеры сгорания к возбуждению автоколебаний показывают, что влияние подачи диффузионного топлива на возбуждение автоколебаний в зависимости от температуры пламени носит не однозначный характер. При низких температурах пламени уменьшение доли диффузионного топлива приводит к возбуждению автоколебаний, в то время как при высоких температурах пламени к автоколебаниям приводит увеличение доли диффузионного топлива. (Данный результат также описан в работе [3]). В частности, при запуске ГТД в момент разгона турбин температура пламени существенно возрастает, что требует применение отдельной системы регулирования расхода диффузионного топлива не связанной со статическими параметрами, такими как обороты ТВД или температура окружающей среды.

Описаны требования к алгоритмам блока управления камерой сгорания (БУКС) основанные на опыте разработки и эксплуатации на компрессорных станциях РАО «Газпром» камер сгорания с предварительным смешением топлива ПСТ 25И и ПСТ MS3002 включающие в себя следующие основные положения, вытекающие из стратегии обеспечения живучести наземной газотурбинной установки (ГТУ):

Должна проводиться верификация данных поступающих в БУКС для предупреждения ложного срабатывания системы при отказе датчиков. На основе данной верификации должно устанавливаться достаточно ли данных для определения текущего режима работы камеры сгорания в составе ГТУ.

Должен быть найден безопасный режим работы, обеспечивающей надежную работу камеры сгорания в условиях, когда текущий режим работы камеры сгорания в составе ГТУ не известен. Алгоритм БУКС должен обеспечивать переход управления камерой сгорания в безопасный режим работы или в случае невозможности перехода в безопасный режим работы производить аварийный останов ГТУ.

Сохранение доли расхода диффузионного топлива при погасании камеры сгорания для предотвращения повторного воспламенения топлива в камерах сгорания при аварийном останове.

Контроль расхода доли диффузионного топлива на основе средне-массовой температуры пламени в первичной зоне камеры сгорания.

Наличие алгоритма управления камерой сгорания при потере связи с САУ ГТУ и (или) при отказе одного из контроллеров БУКС.

Наличие дублирующей системы контроля пламени при отсутствии сигнала от одного из датчиков пламени на основных режимах работы ГТУ.

Для предотвращения разрушения камеры сгорания и турбин ГТУ должна существовать система мониторинга пульсаций давления в камере сгорания для принятия оперативного решения при попадании режима работы ГТУ в неисследованную область в ходе его эксплуатации.

БУКС должен проводить пусковую диагностику системы розжига камер сгорания и системы проверки наличия пламени в камерах сгорания, позволяющую принять решение об отказе от пуска до возникновения ситуации аварийного останова.

### Список литературы

1. Tuning Approaches for DLN Combustor Performance and Reliability 1005037. Technical Update, March 2005.
2. Алгоритм системы автоматического управления ГТД ДГ90Л2.1 Г90108003 ДЗ
3. Булысова Л.А. Численное моделирование при испытаниях и наладке малоэмиссионных камер сгорания ГТУ: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2014.

УДК 621.438.082.2

### **КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, РАЗРАБОТАННЫЕ ООО НПФ «ТЕПЛОФИЗИКА» ПРИ СОЗДАНИИ МАЛОЭМИССИОННЫХ КАМЕР СГОРАНИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ СМЕШЕНИЕМ ТОПЛИВА ДЛЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЙ, ПРОВЕРЕННЫЕ НА КАМЕРАХ СГОРАНИЯ ПСТ 25ИР И ПСТ MS3002 В ХОДЕ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ И СЕРИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Скиба Д.В., ООО «НПФ «Теплофизика», г. Уфа, [d.skiba@teplophysics.ru](mailto:d.skiba@teplophysics.ru)  
Кашапов Р.С., ООО «НПФ «Теплофизика», г. Уфа  
Максимов Д.А., ООО «НПФ «Теплофизика», г. Уфа

Успешное внедрение малоэмиссионных камер сгорания в рабочий процесс ГТД требует наличия ряда ключевых технологий, освоение которых сдерживается крайне скудной информацией об их применении. К таким ключевым технологиям относятся: